

В. К. Лобанов, д-р техн. наук,  
Г. И. Пашкова, канд. техн. наук, Харьков, Украина

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЫХ КОРПУСОВ РЕДУКТОРОВ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

*Наведено результати дослідження впливу різних видів обробок на геометричну стабільність виливків складнопрофільних деталей з алюмінієвих сплавів в процесі їх виготовлення. Показана ефективність використання вібростабілізації у порівнянні з додатковим відпуском після попередньої механічної обробки.*

*Приведены результаты исследования влияния различных видов обработки на геометрическую стабильность отливок сложнопрофильных деталей из алюминиевых сплавов в процессе их изготовления. Показана эффективность применения вибростабилизации по сравнению с дополнительным отпуском после предварительной механической обработки.*

**V. K. LOBANOV, G. I. PASHKOVA**  
**STABILIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF CAST CASES OF  
CATERPILLAR MACHINES REDUCERS**

*Results of research of influence of different types of treatment on geometrical stability of founding of complex details from aluminium alloys in the process of their making were given. Was shown the efficiency of application of vibrostabilizing as compared to additional vacation after a mechanical rough-down.*

В современной технике в качестве конструкционных материалов широко используют сплавы на основе алюминия, главным преимуществом которых является низкая плотность и высокая удельная прочность, что в сочетании с хорошей коррозионной стойкостью делает их незаменимыми при изготовлении тяжелонагруженных деталей двигателей и трансмиссий. К числу наиболее ответственных деталей, изготавливаемых из алюминиевых сплавов, относятся корпуса редукторов приводов систем гусеничных машин.

Корпус редуктора – сложная по конфигурации литая деталь, имеющая более десяти отверстий диаметром от 100 до 255 мм, которые выполняются на расточных станках (рис. 1). После окончательной обработки указанных отверстий деталь подвергается ряду дальнейших операций – сверлению мелких отверстий, фрезерованию плоскостей и др.

Установлено, что в процессе производства происходит неоднократное самопроизвольное изменение формы и размеров выполненных отверстий. Зафиксировано также возникновение трещин на корпусах, что является косвенным свидетельством неравномерного напряженного состояния детали и высоких пиковых значений растягивающих напряжений.

Представляет интерес оценка характера коробления корпуса после чистовой расточки отверстий и вылеживания, а также выявление влияния операций механической обработки, следующих за расточкой, на изменение геометрии и размера корпуса.

Известно, что эффективными способами стабилизации геометрических параметров являются стабилизирующий отпуск и вибрационная обработка [1-5].

Стабилизирующий отпуск – одна из широко распространенных операций, проводимых для снижения уровня остаточных напряжений и стабилизации размеров деталей. Указанная операция эффективна для стальных деталей, термообработанных на средний и низкий уровень твердости, но может быть менее эффективна для деталей из термоупрочняемых алюминиевых сплавов вследствие ограничения возможной температуры отпуска сравнительно низкими значениями температуры старения.

Вибростабилизация – прогрессивный процесс, нашедший применение в промышленности. Практическое использование вибрационной обработки подтверждает высокую эффективность указанного способа для стабилизации формы и размеров деталей из сталей, чугуна и алюминиевых сплавов. Поэтому данный метод может применяться взамен длительных и подчас малоэффективных термических способов снижения остаточных напряжений.

Целью настоящей работы являлось исследование эффективности применения дополнительного отпуска и вибрационной обработки для стабилизации размеров литых корпусов редукторов гусеничных машин.

Контроль изменения геометрии осуществлялся на отливках корпусов, изготовленных из сплава АК6Мг (6,0-8,0 % Si; 0,2-0,4 % Mg; Al – ост.) литьем в кокиль и подвергнутых термообработке по режиму: нагрев до температуры  $535 \pm 5^\circ\text{C}$ , закалка в воду, старение при  $180^\circ\text{C}$  в течение 5 ч. При этом обеспечиваются следующие показатели механических свойств: твердость HB  $\geq 60$ ,  $\sigma_b$  220 МПа,  $\delta$  2 %.

Определение твердости методом Полюди на каждой из деталей в трех точках показало, что значения твердости корпусов находятся в пределах от 60 до 99 HB.

Чистовая расточка отверстий в корпусах производилась одной партией в один день с контролем размеров следующих отверстий:  $\varnothing 190 + 0,046$  мм (1, 2, 3);  $\varnothing 140 + 0,035$  мм (4, 5);  $\varnothing 115 + 0,035$  мм (6, 7);  $\varnothing 255 + 0,05$  мм (8). Расположение и нумерация отверстий показаны на рис. 1, а, б.

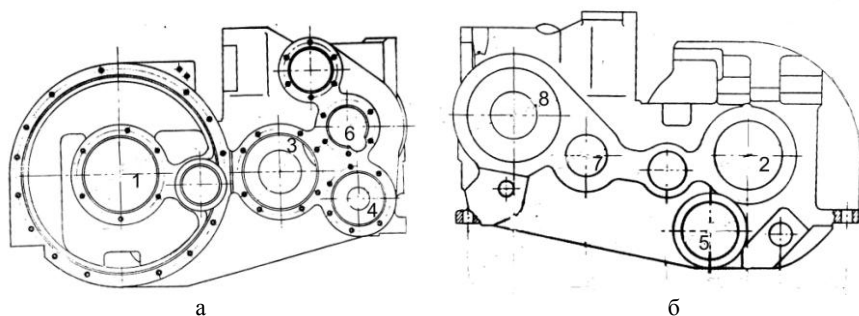


Рисунок 1 – Эскиз корпуса редуктора из сплава АК6Мг:  
а – основной вид; б – с тыльной стороны

Диаметр каждого из указанных отверстий измерялся в 4-х сечениях, повернутых одно относительно другого на  $45^\circ$ , причем первое сечение во всех случаях выбиралось перпендикулярно к базовой плоскости детали при ее установке на расточном станке. Измерения проводили с помощью нутромеров типа ИЧ с ценой деления 0,01 мм.

Измерение диаметров всех отверстий производилось в день расточки, затем ежедневно в течение 5-ти дней, затем еще через 10 дней (на 15-й день после обработки). При этом осуществлялась фиксация температуры воздуха в месте расположения деталей. Непосредственно после изготовления все размеры отверстий находились в пределах чертежных допусков.

На основании проведенных измерений установлено:

- уже через сутки после чистовой расточки наблюдается заметное изменение исходных размеров отверстий: величина отклонений от чертежных допусков достигает на некоторых отверстиях 0,05-0,07 мм;

- в процессе вылеживания форма и размеры отверстий меняются самым произвольным образом, на некоторых корпусах наблюдалось наличие предельных отклонений в сторону уменьшения отверстий, на других – в сторону их увеличения, на отдельных корпусах изменения размеров вообще незначительны. Это обусловлено, по-видимому, рядом трудно учитываемых факторов: особенностями остаточного напряженного состояния, возникшего в результате предшествующей термообработки, сложностью формы детали, обусловивших взаимное влияние близко расположенных отверстий и т. д.;

- даже через 15 дней после чистовой расточки на каждом из десяти исследованных корпусов имеется от одного до четырех отверстий, диаметр которых выходит за пределы чертежных допусков. Кроме того, размеры отверстий части корпусов больше предусмотренных чертежом, поэтому не могут быть исправлены;

- в связи с тем, что температура воздуха в процессе измерений изменялась незначительно (в пределах  $1-2^\circ\text{C}$ ), ее влияния на изменение геометрических размеров отверстий не зафиксировано.

Анализ результатов измерений, проведенных после наиболее металлоемких операций механической обработки (фрезерование боковых поверхностей, сверление и нарезание резьбы крепежных отверстий под шпильки, сверление ступенчатого отверстия диаметром 18 мм на перемычке между отверстиями 2 и 5) показал, что осуществление указанных операций приводит к заметному росту отклонений формы и размеров отверстий. Любой съем металла в напряженной детали приводит к перераспределению исходных остаточных напряжений и, как следствие, к возникновению деформаций. Поэтому следовало ожидать, что операции фрезерования и сверления должны привести к дальнейшим изменениям формы и размеров контролируемых отверстий.

Так, в 1,7 раза увеличилось количество отверстий, имеющих отклонения от чертежных допусков, практически в 1,5 раза возросло количество корпусов с отверстиями, не подлежащими исправлению.

Сравнительная оценка формы контролируемых отверстий также подтверждает рост необратимых неравномерных деформаций после окончатель-

ного изготовления: по сравнению с исходным состоянием на более чем 50% отверстий увеличились искажения цилиндрической формы.

Таким образом, операции механической обработки корпусов, следующие за расточкой, приводят к заметному росту отклонений как формы, так и размеров отверстий. Произвести раздельную оценку влияния каждой из операций чистовой механической обработки оказалось невозможным: любое силовое воздействие приводит к изменениям размеров даже в зонах, весьма удаленных от зоны воздействия.

Для стабилизации размеров корпусов исследовано применение двух режимов дополнительного отпуска, проводимого после предварительной механической обработки:

1 режим – нагрев в печи до 150°C, выдержка при этой температуре 8 часов, охлаждение на воздухе;

2 режим – нагрев в печи до 170°C, выдержка при этой температуре 15 часов, охлаждение на воздухе.

На корпусах производилось измерение твердости непосредственно после отпуска, затем осуществлялась чистовая расточка отверстий и в течение 5 дней после расточки производилось измерение диаметров отверстий по приведенной выше методике.

Анализ полученных результатов показывает следующее:

Дополнительный отпуск ни по одному из режимов не привел к снижению значений твердости корпусов по сравнению с серийными.

Стабилизирующий отпуск по 1 режиму оказал некоторое положительное влияние на стабильность размеров и формы контролируемых отверстий. Так, через сутки после чистовой расточки отпущенных корпусов предельные отклонения сверх допуска не превышают 0,03 мм (для серийных корпусов эти отклонения достигают 0,05-0,07 мм); общее количество отверстий с отклонениями, выходящими за чертежный размер, составило 29,8 % по сравнению с 38,5 % для серийных корпусов.

В то же время следует отметить, что на ряде отверстий предельные изменения размеров отверстий могут достигать 0,1 мм, как и у серийных корпусов. Кроме того, вылеживание в течение 5 дней не уменьшает количества отверстий с отклонениями, выходящими за пределы чертежных допусков.

В целом отпуск при температуре 150°C в течение 8 часов, даже учитывая полученный в данном случае положительный эффект, окончательно проблемы стабилизации корпусов не решает.

Стабилизирующий отпуск по режиму 2 оказался еще менее эффективным: через сутки после окончательной расточки количество отверстий с отклонениями, превышающими допуск, увеличивается в 1,9 раза, а на пятые сутки еще на 11,7 %, при этом предельные отклонения от допуска достигали величины 0,08-0,12 мм. Кроме того, возникают также существенные искажения формы отверстий – разница размеров для различных сечений составляет 0,07 мм.

Таким образом, на основании полученных результатов предложенные режимы отпуска не могут быть рекомендованы для стабилизации формы и размеров отверстий в корпусах.

Характер изменения формы и размеров отверстий после операций фрезерования и сверления корпусов после отпуска при температуре 150°C свидетельствует о том, что отпуск по режиму 1 оказывает некоторое положительное влияние на уменьшение коробления корпусов по сравнению с серийным вариантом, однако, недостаточное для полного устранения брака корпусов по короблению: после окончательного изготовления 56,5 % отверстий имели отклонения, превышающие чертежный допуск.

Для вибрационной обработки корпусов была использована универсальная экспериментальная установка модели 489Р производства ВИСП. Установка состоит из вибростола, 2-х вибраторов и пульта управления, позволяет плавно изменять частоту нагружения от 20 до 100 Гц, регулировать возмущающую силу на резонансных частотах в пределах до 12 кН, регистрировать ток, потребляемый вибровозбудителем, и частоту возбуждения колебаний.

Схема виброобработки корпусов приведена на рис. 2.

Обрабатываемая деталь устанавливается на вибростол, состоящий из двух плит – верхней и нижней, между которыми расположены четыре свободно опертых пружины. Нижняя плита изолирована от пола специальными виброгасящими резиновыми подушками. Как видно из схемы колебательной системы, вибростол в данном случае использовался только как средство виброизоляции колеблющихся масс (деталь и вибратор) от пола.

Верхняя плита служит в данном случае для крепления обрабатываемой детали. Корпус устанавливался на металлические подставки и жестко крепился к плите с помощью болтов. К другой свободной торцевой поверхности жестко крепился вибратор последовательно в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Затем корпус переворачивали и аналогичной обработке подвергали другой его свободный торец. Таким образом, корпус обрабатывался за 4 установки вибратора. В дальнейшем число установок уменьшили до двух: обработка при поперечном положении вибратора вызывала колебания свободного конца детали со значительно меньшей амплитудой, чем при продольном положении вибратора. Амплитуду вибраций в различных точках детали определяли с помощью вибродатчика типа ИС 318-1 и высокочастотного милливольтметра ВЗ-38. В процессе обработки непрерывно фиксировали ток, потребляемый вибратором, частоту нагружения и амплитуду вибрации. Обработку производили на резонансной частоте, определяемой путем плавного изменения частоты нагружения: при достижении резонансной частоты ток, потребляемый вибратором, падает, а амплитуда вибрации резко возрастает.

Обработку детали при оптимальном режиме производили в течение 15 минут для каждой установки вибратора и детали.

После виброобработки осуществлялась механическая обработка, после чего производились измерения диаметров отверстий непосредственно после обработки и после вылеживания по описанной выше методике.

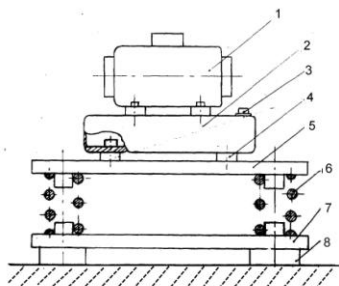


Рисунок 2 – Схема установки для вибрационной обработки деталей: 1 – вибратор, 2 – обрабатываемая деталь, 3 – вибродатчик, 4 – подставки, 5 – верхняя плита, 6 – пружина, 7 – нижняя плита, 8 – виброгасящие подушки

Изучение характера и особенностей изменения формы и размеров отверстий при вылеживании на виброобработанных корпусах показали следующее:

- вибрационная обработка принципиально меняет поведение корпусов при вылеживании в сравнении как с серийными корпусами, так и с корпусами после термостабилизации. Количество корпусов с отверстиями, размеры которых выходят за пределы чертежных допусков, существенно меньше, после вылеживания основное количество размеров практически не меняется, форма отверстий по сравнению с исходным состоянием не искажается – первоначально круглые отверстия остаются круглыми. Тем самым подтверждается высказанное выше предположение о стабилизирующем влиянии виброобработки;

- наблюдаемые на некоторых отверстиях изменения размеров до 0,04 мм за период вылеживания выпадают из общей закономерности и носят, по видимому, случайный характер.

Обобщенные результаты измерений размеров отверстий в корпусах после различных вариантов обработки представлены в таблице.

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

- на всех стадиях изготовления корпусов редукторов гусеничных машин и при их вылеживании происходит изменение формы и размеров отверстий, во многих случаях превышающее пределы чертежных допусков. Эти изменения обусловлены релаксацией остаточных напряжений, возникающих в деталях в процессе изготовления и усугубляемых сложностью ее конфигурации;

- дополнительный стабилизирующий отпуск при температуре 150°C в течение 8 часов оказывает положительное влияние на стабильность формы и размеров отверстий под стаканы, но это влияние невелико и не может окончательно решить проблему коробыления корпусов в производстве.

Стабилизирующий отпуск при 170°C в течение 15 часов в данном исследовании не привел к положительным результатам;

- наиболее эффективным способом стабилизации размеров корпусов является вибрационная обработка, выполняемая после расточки отверстий под стаканы.

Таблица – Результаты измерения размеров отверстий в корпусах после различных видов обработки

№ п/п	Вид обработки	Время измерений	Количество отверстий, %	
			с размерами, выходящими за пределы чертежных допусков	не подлежащих исправлению
1	Чистовая расточка отверстий	через сутки	38,5	7,9
		через 15 суток	41,9	8,1
2	Механическая обработка после чистовой расточки отверстий	через сутки	70,8	12,4
3	Отпуск при 150°C, 8 ч	через сутки	29,8	7,3
		через 5 суток	31,2	8,2
4	Отпуск при 170°C, 15 ч	через сутки	71,7	13,4
		через 5 суток	83,4	14,5
5	Механическая обработка после отпуска 150°C	через сутки	56,5	9,9
6	Вибрационная обработка	непосредственно после обработки	8,7	0
		через 15 суток	9,6	0

Проверка эффективности вибростабилизации на серийной партии корпусов показала, что стабильность геометрии отверстий корпусов увеличилась более чем в 4 раза.

На основе результатов проведенного исследования создан гибкий участок с виброкомплексом для изготовления корпусных деталей, позволивший внедрить процесс виброобработки корпусов редукторов гусеничных машин в опытно-промышленное производство.

**Список использованных источников:** 1. Коцюбинский О.Ю. Коробление чугуновых отливок от остаточных напряжений. – М.: Машиностроение, 1965. – 175 с. 2. Винокуров В.А. Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений. – М.: Машиностроение, 1983. – 215 с. 3. Борздыка А.М., Гецов Л.Б. Релаксация напряжений в металлах и сплавах. – М.: Металлургия, 1972. – 304 с. 4. Шнеер Ф.З., Панов В.И. Вибрационная обработка крупногабаритных конструкций с целью уменьшения деформации и склонности к образованию трещин // Сварочное производство. – 1983. – № 5. – С. 13-15. 5. Дрыга А.И. Гибкий автоматизированный участок с виброкомплексом для обработки корпусных деталей // Станки и инструмент. – 1992. – № 3. – С. 2-3.

Поступила в редколлегию 25.03.2011

**Bibliography (transliterated):** 1. Kocjubinskij O.Ju. Koroblenie chugunnych otlivok ot ostatocnyh naprjazhenij. – M.: Mashinostroenie, 1965. – 175 s. 2. Vinokurov V.A. Otpusk svarnyh konstrukcij dlja snizhenija naprjazhenij. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 215 s. 3. Borzdyka A.M., Gecov L.B. Relaksacija naprjazhenij v metallah i splavah. – M.: Metallurgija, 1972. – 304 s. 4. Shpeer F.Z., Panov V.I. Vibracionnaja obrabotka krupnogabaritnyh konstrukcij s cel'ju umen'shenie deformacii i sklonnosti k obrazovaniju trevin // Svarochnoe proizvodstvo. – 1983. – № 5. – S. 13-15. 5. Dryga A.I. Gibkij avtomatizirovannyj uchastok s vibrokompleksom dlja obrabotki korpusnyh detalej // Stanki i instrument. – 1992. – № 3. – S. 2-3.